

钢板轧机合理孔型设计

B. A. 恰古諾夫 著
王廷溥 于世果 譯

冶金工業出版社



鋼板軋机合理孔型設計

B.A. 恰古諾夫 著

王廷溥 于世果 譯

冶金工業出版社

本書是由东北工学院苏联專家 Н.К. 苏沃罗夫推荐根据苏联 1944 年出版的原書譯出的。

書中引用了若干工厂的实际資料，对影响鋼板軋机孔型設計的因素作了分析其中包括溫度范围、动力和生产能力；並比較了按各种方法进行的孔型設計，叙述了先进的孔型設計方法。

本書適用於工程技術人員、高等學校学生和設計人員。

В.А.ТЯГУНОВ: РАЦИОНАЛЬНАЯ КАЛИБРОВКА ЛИСТОВЫХ
СТАНОВ, МЕТАЛЛУРГИЗДАТ (Москва-1944)

鋼板軋机合理孔型設計

王廷溥 于世果 譯

1957 年 4 月第一版

1957 年 4 月北京第一次印刷 2,541 册

850×1168 • 1/32 • 190,000字 • 印張 $7\frac{6}{32}$ • 定价 (10) 1.20 元

冶金工業出版社印刷厂印

新华書店發行

書号 0558

冶金工業出版社出版 (地址: 北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 号

目 录

著者的話·····	5
-----------	---

第一章 鋼板軋机孔型設計的一般問題

1. 關於合理孔型設計的概念·····	6
2. 軋制鋼板时的咬入角·····	8
3. 軋制鋼板时的傳动功率·····	10
4. 軋制鋼板时軋輥的强度·····	12
5. 軋制鋼板时的延伸率·····	13
6. 軋制鋼板时的速度和平軋·····	20
7. 限制因素之間的关系·····	20

第二章 工厂的实际資料

1. A 工厂的鋼板軋机·····	22
2. Б 工厂的鋼板軋机·····	34
3. B 工厂的鋼板軋机·····	44
4. 在 E 工厂薄板的軋制·····	50
5. 在 И 工厂薄板的軋制·····	63
6. 在 Ж 工厂薄板的軋制·····	79
7. 在 З 工厂薄板的軋制·····	80

第三章 鋼板軋制时的溫度範圍

1. 軋制最初溫度·····	87
2. 現有热工公式的分析·····	94
3. 道次中溫度降落的規律·····	103
4. 总溫度降的規律·····	108

第四章 鋼板軋机的动力研究

1. 軋制功·····	122
-------------	-----

2. 軋制时的压力	125
3. 系数 $\nu_{\frac{1}{2}}$ 的理論分析	127
4. 系数 $\nu_{\frac{1}{2}}$ 的經驗分析	129
5. 垂直力的分析計算	137
6. 軋制鋼板时压力的試驗确定	145
7. 能量消耗的試驗确定	148

第五章 鋼板軋机的生产能力

1. 軋鋼机生产能力的一般概念	155
2. 可逆軋机生产力的計算	156
3. 轉向不变的軋机	175

第六章 鋼板軋机孔型設計的方法

1. 按照已知压下量曲綫进行孔型設計	187
2. 按照电动机功率进行孔型設計	191
3. 按照軋輥强度进行孔型設計	194
4. 按照布雷尔金方法进行孔型設計	197
5. 中、厚板軋机合理孔型設計	201
6. 薄板軋机合理孔型設計	211
参考文献	229

著者的話

改进幹部和劳动力的使用以提高生产效率，在苏維埃现实中是斯达哈諾夫运动和生产組織的最新形式的一种發展，即是多机床工作法和兼職制的一种發展。

在改进技术的利用方面，在靠着使机器更充分地負載及进一步利用其强度与能力，以發掘其所能發揮的最大力量方面还存在着很大的潛力。在軋鋼生产中，任务主要就在於制定軋机的合理孔型設計，選擇最适宜的压下量以及使軋制中有最少的道數。

在軋鋼机孔型設計方面的文献中，鋼板軋机孔型設計是介紹得最少及最缺乏論据的。这就意味着在我們的鋼板軋机中还有过大的安全系数，这系数是可以減小而對於軋机零件的寿命並無特別的損害的。

著者肩負了探求鋼板軋机合理孔型設計的方法的任务，曾为此对很多工厂鋼板軋机的操作进行了詳細研究。这些軋机动力情况的分析証明，未經計算逐道的主要动力指标而制訂的孔型設計，不是正确而均匀地利用了軋軋的安全系数，因而在軋軋强度总的利用率很低的时候，也常由於个别道次应力过大而致断軋。

研究的結果，得出实际上相当精确的計算各道主要动力指标的方法。这种方法不但能对斯达哈諾夫式操縱工的工作进行分析，闡明他們的实际孔型設計的長处与短处，而且也利於制訂新的合理的孔型設計。

第一章 鋼板軋機孔型設計 的一般問題

1. 關於合理孔型設計的概念

鋼板軋機孔型設計即是軋制各種鋼板時逐道壓下量的選擇。任何旨在求得最有效的孔型設計的原則都可作為選擇逐道壓下量的基礎。孔型設計的方法取決於孔型設計基本原則的性質。各種孔型設計的方法對於同一種軋制斷面會得到各種不同的結果：產品質量不同，電動機功率及軋機零件強度的利用也不相同，因而其軋制道數和生產力亦互有差異。

這在圖1中可以很明顯地表示出來。該圖中表明出鋼板逐道厚度的變更系依所取絕對壓下量變更的規律而定，也表明絕對壓

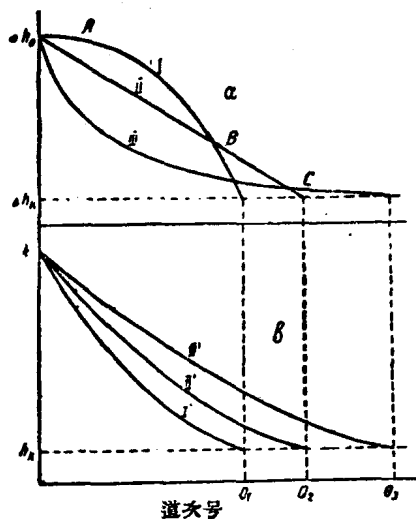


圖1 道數與壓下量曲線的關係
a—逐道絕對壓下量曲線；b—逐道厚度變更的曲線

下量對軋制道數的影響。按曲線I（圖1a）的壓下規律可以最有效地減少鋼板厚度和道數，因此如果曲線I'（圖1b）能適合於電動機及工作機列零件負荷的正常條件，也適合於操作過程進行的正常情況的話，則此曲線便是最有利的。比如在A點，雖然在此時期內溫度、厚度大，在一定程度上可使電動機、連接機件及工作軋輥不致過負荷，但我們仍然認為有過負荷的可能。在另一方面，即使是按曲線II和III以更多的道數進行軋制，

也不能保障在 B 点和 C 点工作軋輥不会应力过大，因为此處溫度低厚度小，即對於強烈压下是最不利的情况，因而斷軋的危險最大。這就是鋼板軋机最脆弱的方面。

很明显，在所有各种可能的孔型設計中只有一种孔型設計可称为是合理的孔型設計，在这种孔型設計中考虑了所有影响压下量大小的的重要因素，並在整個軋制期間內最有效地利用了軋机强度和力量，沒有任何地方比規定的数值有显著的过負荷或負荷不足，因而可使軋制的道数为最少，同时由於軋机負荷不均匀而可能引起的事故也最少。

由於必須考虑到所有能限制压下量大小的主要因素，因而就使得鋼板軋机合理孔型設計的問題十分复杂，需要多方面的計算。任何簡化都可使問題的解决帶片面性，因而隨之引起的，或为生产力的降低，或为軋机危險的过負荷，使事故次数增多：不管是那一种情况，其特征都是降低了生产的效率。

既然动力的因素（能力及强度）是決定鋼板軋机合理孔型設計的主要因素，則对各种不同軋制情况下的軋机負荷加以研究就是完全必要的。由於軋制原理尚未給动力学問題以滿意的解决，就必須在拥有相当丰富的各种經驗資料时，借助於可靠的理論原則和加工方法，来进行經驗材料的綜合，以获得軋机动力分析計算的可能。如此鋼板軋机合理孔型設計的問題將可得到解决。

这里首先必須知道每道中功率的大小以及軋輥上的压力。这些数值在各种不同的軋制情况下变动的範圍極為寬广。

影响到功率及軋制压力大小的主要因素有：1）軋制材料的种类；2）該道中材料的溫度；3）外摩擦（軋身上的滑动）；4）軋制速度；5）压下量的大小；6）鋼板寬度；7）軋輥直徑。

在研究軋机的动力情况时，應該特別注意到逐道溫度的确定。这样注重溫度，是由於軋制鋼板时溫度的变化很剧烈，对动力情况有很重要的影响。为了分析計算动力情况，不仅应当知道

溫度對於變形抗力的一般影響，而且還應知道在各該道中應該是什麼樣的溫度。為此就必須知道溫度下降的規律。

通過測量溫度方面的大量的試驗，作者可以確立出軋制鋼板時的這種規律（參看第三章）。

不可把合理孔型設計狹義地理解為軋制各種鋼板時逐道壓下程序的編制，而應將其理解為全面的綜合計算工作，此工作要考慮並研究所有影響到軋機生產力的因素，即影響到孔型設計最終目的的因素。

在合理孔型設計中應解決下列問題：

- 1) 原料的選擇（鋼錠，板坯，薄板坯）；
- 2) 軋制開始溫度的選擇；
- 3) 由於軋制延續時間及軋件最初與最終的尺寸而引起的逐道溫度的降低；
- 4) 由所取定的壓下量而引起的力的計算；
- 5) 電能消耗與所需電動機功率的確定；
- 6) 照所有可能的孔型設計方案計算生產力，這樣便可能選定最合理的孔型設計方案。

在本書專門的章節（第二章至第五章）中，包含了必需的資料，可用它們來全面解決合理孔型設計問題，並闡明限制逐道壓下量之值的主要因素。

主要的限制因素中包括咬入角、電動機功率和軋輥強度。此外在文獻中還有這種說法，即延伸率的大小，變形速度及軋制的精確度也是限制的因素。但是在本章中以下所引述的許多理由都說明了，後面的這種說法是不符合實際的。

現在我們來確定可以限制壓下量大小的有效因素，並研究這些因素產生的條件。

2. 軋制鋼板時的咬入角

軋制鋼板時許用的極限咬入角在很大程度內是取決於軋機型式（有無非傳動的軋輥）、軋制速度、軋輥的材料及其表面狀態

以及鋼板的溫度等。

按塔費爾和施奈德爾的資料^①，傳動的平輥依軋制速度之不同可以在以下的咬入角時可靠地咬入：

速度 v (公尺/秒)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.5
咬入角 α (度)	25	23	22.5	22	21	17	11

由此可知，在可逆式鋼板軋机上具有最便利的咬入條件（速度小、兩輥傳動，軋輥直徑大），其咬入角可以在 22° — 25° 的範圍內，因而在一道中的絕對壓下量可以允許達到 60—80 公厘。

根據軋機零件強度和電動機功率的情況，這樣大的壓下量在軋制鋼板時是不能用的，因而在可逆式鋼板軋机上咬入角通常不是限制因素。只在軋制窄鋼板時可能有例外，因為窄鋼板可使軋輥上的壓力及傳動功率降低。這種情況對於具有低軋制速度的連續鋼板軋機的荒軋机架也是同樣的。

在三輥式勞特軋機中具有非傳動的中輥和較高的軋制速度（50—90 轉/分），这样就引起了較可逆式軋機為壞的咬入條件，其咬入角顯著地減小而常常限制着壓下量的大小。

按文獻資料，三輥式勞特軋機中輥的許用極限咬入角為 14° — 16° 。

我們在 650/450/650 軋机上觀察了鋼錠的軋制，軋制速度為 2.5 公尺/秒，壓下量為 18—21 公厘，此數值相當於中輥咬入角 18° — 19° ；我們也在 850/560/850 軋机上觀察了板坯的軋制，其軋制速度為 2.2 公尺/秒，壓下量達到 22—25 公厘，此數值相當於咬入角 18° — 19° 。這樣看來，對於三輥式勞特軋機也可以利用塔費爾和施奈德爾的資料。

至於上輥不傳動的薄板軋機，儘管軋制速度很小，其許可的極限咬入角却大為減小，不超過 7° — 7.5° 。然而正如可逆式軋機一樣，在薄板軋机上也很少利用其極限咬入角。

假如說咬入角限制着鋼板軋機壓下量的大小的話，那麼這也

① Stahl u Eisen, 1924, 305—309 頁

只是开始几道会发生这种情况，因为在以后的道次中，从轧辊强度的条件出发便会使绝对压下量很快地减小。

3. 轧制钢板时的传动功率

当轧辊负荷均匀时，逐道的轧制功率应该在开始几道为最大，并且随着接近于轧制终结而减少。

事实上我们来研究一下，也是如此。

任何一道的功率为其圆周力与轧制速度的乘积：

$$N = 2 P v$$

同时考虑到戈洛文的〔1〕^①的圆周力的方程式：

$$P = \frac{1+\lambda}{2\lambda} \nu_h \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2} Q_h,$$

式中 Q_h ——轧件在轧辊上的垂直压力，

α_0 ——咬入角，

ν_h ——考虑变形复杂性的系数（对于钢板，几近于1），

λ ——该道中的延伸率。

当轧件作用于轧辊上的压力不变时，同时近似地略去 $\frac{1+\lambda}{2\lambda}$

和 ν_h 两项，则可得各道中功率之比如下：

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} = \sqrt{\frac{\Delta h_1}{\Delta h_2}},$$

这就是说，随着咬入角的减小，或者同样的说法，随着压下量的减小，功率也在降低（当速度不变时）。

由此看来，三辊劳特式轧机和普通二辊式轧机电机的最大过负荷应该是在开始几道，但由于这些轧机常常备有飞轮，故过负荷完全为飞轮所消除而未传达到电动机上，这由电动机负荷图中很明显地看得出来（参看图2）。在开始几道电动机所承受的功率与其空转的功率几乎很少差别。只有在最后几道当飞轮已经

① 参考书末参考文献目录

“疲乏”时电动机才承受負荷。

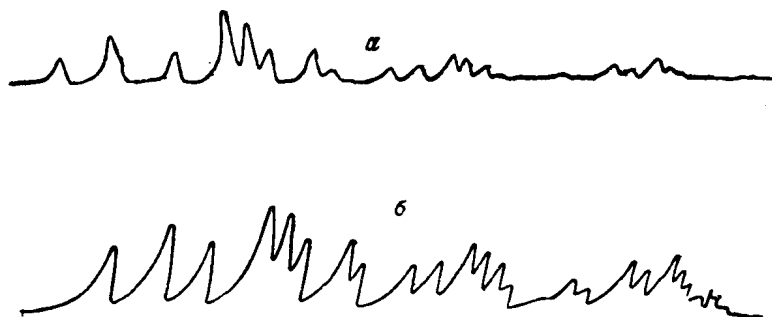


圖 2 电动机負荷曲綫

a—电动机軸上的功率；b—电动机軸上的电流强度

所以只有在电动机功率小於軋制的平均功率，亦就是总的說来是不够时；或者当所安設的飞輪容量不适合时，电动机才会有过負荷的可能。

科托夫〔2〕工程师所提出的，借記錄安培計以控制軋輥上的压力使其保持不变的建議是不适用的，因为如前所指出的，一方面是各道次中的功率与电动机軸上的功率不相符合，另一方面是各道次中的功率与軋輥上的压力也不相符合。

显然，作者是認為电流强度与軋輥上的压力成比例的。但是实际上在帶有飞輪的机組中，按照电流强度曲綫，絲毫也不能推断軋輥上变化着的压力。电流强度的变化，取決於各道間間歇時間的大小。当軋机緊張地工作时（間歇時間短），甚至在軋輥上压力減小的情况下，电流强度也会增加。

對於可逆式軋机也不能利用这一个控制的方法。在可逆式軋机中，軋制速度的变动和增加將會增高电动机的負荷，而压下量的減小却相反地可降低其負荷。两个因素变更可以相差到好几倍，因而不可能按压力不变的假定去判断問題。

这里只能做到使电动机的負荷均匀（依靠速度的選擇），而对軋輥則不能。

再回到關於作为可逆式軋机限制因素的电动机功率的問題上来，我們应得出这样的与劳特軋机相同的結論，就是說可逆式軋机

的功率只有在其总功率不够时才有限制的作用，在可逆式軋机上其速度的变更也同样可使电动机逐道的負荷均匀，而起着三軋式劳特軋机上的飞輪所起的作用。

电动机功率不能認為是决定的因素，这是因为，原則上电动机应按事先規定的合理工艺过程来选取，而並不是相反的要工艺过程按已有的电动机来选定。工作机架是主要的机組，应由工作机組的生产能力来确定电动机的功率。是电动机为軋机服务，而不是軋机为电动机，只有遵照这个原則才能有最大的軋制效率。

只有在电动机功率小的旧軋机上，要使孔型設計合理，問題的解决就可能要以电动机功率的不足为轉移。此时的孔型設計，由於充分地利用了电动机功率，从这一观点来看是合理的，但总还不是徹底合理的，因为沒有充分地利用工作机架的生产能力。由此可知：在設計新軋机时，只有最好地利用了机架生产能力的孔型設計才是合理的。而馬达則按既定的孔型設計来選擇。

机架的生产能力意思是指軋制中各道有最大的压下量，並不受电动机功率的限制。当机架生产能力所要求裝設的电动机在技术和經濟上难以实现的时候，或在所需要的生产力远小於机架的生产能力的場合都只是說明主要机組設計得不正确，沒有考虑其合理利用的可能，因而也說明工作机架可以將軋軋直徑減小，重量可以大为減輕，且較便宜以及还可以裝設較所需功率为小的电动机。

4. 軋制鋼板时軋軋的強度

軋制鋼板时軋軋的強度是真正的决定因素。即是說对鋼板軋机主要是軋軋的強度限制了逐道最大压下量之值。其实，若把軋軋上的压力以下式表示，即

$$Q_k \approx \frac{N}{2v \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \approx \frac{N}{v \operatorname{tg} \alpha},$$

就很明显地可以得出：在功率一定时，就軋輥强度着眼，則咬入角和軋制速度最小的軋机將是最危險的。而鋼板軋机就正是这样的軋机。

如果按照实际軋制厚、中板时各道咬入角在 3° 到 15° 的范围内，軋制速度平均約 2 公尺/秒，那么当劳特軋机的电动机功率为 3000 仟瓦时，我們就能求出軋輥上的压力可以有 600 到 3000 吨。要是把这些数值和那些軋輥所能承受的最大压力一相比較（參看表 1），則軋輥强度，作为鋼板軋机主要的限制因素，其意义便很明显了。

如果按照表 1 中的数值来計算允許压力，則軋輥强度，作为主要限制因素，其作用当更加明显了。即如果在計算中：

1) 取定鑄鉄和鑄鋼的最大許用弯曲应力；

2) 令軋輥上的压力系均匀地沿輥身的長度分佈着，則实际上由於鋼板的寬度远小於輥身的長度，而使允許压力減低；

表 1

軋輥上的允許压力

軋輥直徑 (公厘)	軋輥上的允許压力(吨)		附 註
	鑄 鉄 輥	鑄 鋼 輥	
600	345	575	許用弯曲应力：鑄鉄取 6 公斤/公厘 ² ，鑄鋼取 10 公斤/公厘 ² 。輥身長度取等於 2000 公厘；輥頸——500 公厘。
700	535	915	
800	820	1370	
900	1170	1950	

3) 輥身的計算長度取 2000 公厘，即比大多数厚、中板軋机的为小；

4) 在軋輥工作的实际情况中会發生計算中不能估計到的冲击力和热应力。

5. 軋制鋼板时的延伸率

由於認為变形大於一定百分数会影响到金屬的質量，因此一

道中的延伸系数（或压下百分率）便常常当作是可以限制绝对压下量大小的因素。这就使得在很多工厂根据假定的变形百分率来制定钢板孔型设计，并且这种变形大小的范围常取为18—20%。

例如，按B工厂轧钢车间的中板轧机规程，变形不应超过18%。同样在E工厂的中板轧机也避免给予超过20%的压下量。在文献中也有这同样的指示（别里斯基，帕纳先科，沙马林等）。并且这个范围内的压下百分率还只许可用于延伸轧制的时期。至于在纵向轧制钢锭的前几道，在对角轧制时以及在最后的几道还荐用更小的压下量。

例如，帕纳先科〔3〕建议在纵向轧制钢锭时的开始几道压下量不超过8—10%，在对角轧制时达15%，在延伸轧制时达20%，在最后几道减低到10—15%。

原则上，我们不反对在孔型设计中延伸率要逐渐增加以达到其最大值，而到轧制终结则又减小。但我们反对说，这些逐道的延伸率是由轧制金属的强度和使金属有适当质量的条件所决定的，因而延伸率本身就是限制绝对压下量的决定因素。我们认为最大延伸率是其他限制因素的函数，而首先是轧辊强度的函数，因而对于各种不同的轧机和各种不同的轧制断面，其最大延伸率也各不相同。固守毫无根据的陈旧的延伸率之值就是人为地降低轧机的能力，障碍着轧机利用率的提高。

实践证明：超过旧的“延伸定额”到相当大的范围，对于钢板的质量没有任何程度的影响。

在表2中举出A工厂钢板轧机（精轧机架）实际的孔型设计。

这里照例除第一和最后一道以外，压下量都超过20%，并波动于20%到33%的范围内，而在个别情况达到45%，对于钢板的质量也无所损害。

在列宁工厂万能轧机的新孔型设计中，压下量达到38%〔4〕。

在最大的南方工厂之一的连续钢板轧机上，用厚为75—165公厘的板坯轧制厚为1.6—12公厘、宽为600—1500公厘的钢板，

其压下量达到相当大的数值:

机架号数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{\Delta h}{h}, \%$	24—50	23—45	20—43	18—42	20—45	25—45	25—40	25—40	20—25	8—10

在薄板轧机上开坯时压下量达到40—53%（上伊塞特工厂，契尔莫兹工厂，雷斯瓦工厂及馬里烏波利工厂）。

所以在現代强大的轧机上轧制鋼板，採用的压下量無比地大於慣常的定額，达到 40—45 %，甚至 50 %，並且在这种情况下分析証明，延伸率的大小不是由鋼板的質量来决定，而是取決於电动机的功率，或軋軋的强度，或咬入角的大小。这就使我們有根据認為：延伸率的大小（或压下百分率）本身还不是限制的因素。

布雷尔金〔5〕工程师引用了庫沙克維奇工程师的試驗，試驗中在溫度为 800—860° 时，將双金屬鉄-砲銅（鋼錠之厚度 90% 为鉄）由厚度 24.7 公厘經一道軋成厚 4 公厘，其压下率为 84%（压下系数 6.2）。此时金屬經全面檢查研究，証明質量完全令人滿意。

在 И 工厂，厚度为 62 公厘及寬为 230 公厘的不銹鋼坯，加热以后，經一道軋成 14 公厘厚，压下率相当於 77.5 %（压下系数 4.43）——對於軋件的質量毫無損害。

順便还可注意到，在此試驗中当絕對压下量为 $62 - 14 = 48$ 公厘时，寬展为 $315 - 230 = 85$ 公厘，即为压下量的 177%。

格魯姆-格尔日迈洛教授用軟鋼也作过类似的实验〔6〕。

在冷軋鋼板时也有相类似的情形，对質量沒有損害。

有很多資料証明，鋼板質量随着压下量的减小（道数增加）而变坏。加列明和納扎連科〔7〕引証了在南方一个工厂的原板轧机上轧制 ДС 号鋼鋼板的一个例子。由於抱着成見認為優質鋼应比普通炭素鋼在軋制中要更为謹慎（即以較小的压下量），對於 ДС 号鋼該厂便改变了軋制規程，即是对於其他相当的鋼板，正常的只軋 21 道，而對於此种鋼板則軋制 37 道。然而按改